Mykorrhiza- und Feinwurzeluntersuchungen in einem Wald- und Weidegebiet

F. GÖBL

Institut für Forstökologie, Forstliche Bundesversuchsanstalt

Kurzfassung. Am Schulterberg in 1640 m Seehöhe im Projektgebiet Achenkirch wurden im Bereich der Waldweide nach dem Ende der Weidesaison 1991 Mykorrhiza- und Feinwurzeluntersuchungen durchgeführt. Auf einer Fläche von 400 m² ergab die Bewertung von 900 Zylinderproben (100 ml) beachtliche Unterschiede zwischen Kleinstandorten von Wald und Weide. Die Trockengewichte von Mykorrhizen und Feinwurzeln waren im Bereich der Bäume höher und zeigten einen dichten Besatz an. Die Typenvielfalt der Mykorrhizen und ihre Vitalität entsprachen einem gutem Waldzustand. Im Weidebereich waren abgestorbene Mykorrhizen und Feinwurzeln sehr häufig. Als Ursache dieser Schäden und damit der schlechten Vitalität wird eine mechanische Belastung der Böden durch Weidevieh angenommen. Es kommt deutlich zum Ausdruck, daß quantitative Merkmale des Mykorrhizabesatzes zu wenig Aussage über Qualität eines Standortes ermöglichen und deshalb die Einbeziehung qualitativer Merkmale erforderlich ist. Deformationen von Mykorrhizen infolge von Schadstoffeintrag wurden nicht festgestellt.

Saatversuche, welche Aufschluß über den Erfolg der Naturverjüngung geben, zeigten, daß die Wurzelentwicklung von 2jährigen Sämlingen auf Weidestandorten schlecht, im Bereich von Bäumen mäßig war, dagegen gut bis sehr gut auf Moderholz (bewertet wurden die Wurzellängen). Die Mykorrhizen zeigten ebenfalls eine stark substratabhängige Ausbildung und sind dementsprechend als Indikator für den Standort heranzuziehen.

Schlüsselworte: Mykorrhizen, *Picea abies*, subalpine Stufe, Nordtiroler Kalkalpen, Schutzwald, Waldweide, Naturverjüngung

Abstract. [Investigations on Mycorrhicae and Fine Roots in an Area used as Forest Pasture.] On the Schulterberg, at an altitude of 1,640 m a.s.l. (Achenkirch project area), investigations on mycorrhiza and fine roots were carried out at the end of the 1991 grazing season in an area used as pasture. The evaluation of 900 cylinder samples (100 ml), taken from an area of 400 m², showed considerable differences between small forest and pasture sites. Where there were trees both the dry weight and the density of mycorrhizae and fine roots were higher. The diversity of the mycorrhizae and their vitality were those of a healthy forest in good condition. In areas used for grazing dead mycorrhizae and fine roots were frequently found. It is assumed that this damage, as well as the resulting poorer vitality, is due to the mechanic stress of the soil caused by grazing cattle or sheep. It is evident that the quantitative features which can be established in respect of mycorrhizae do not provide sufficient information to allow an evaluation of the site quality and that qualitative features must be taken into account for that purpose. No pollutant-related deformation of mycorrhizae was observed.

From seed experiments, which can be used to assess natural regeneration, the following results have been obtained: The roots of 2-year old seedlings developed poorly on sites used for grazing, moderately around trees, and well, or even very well, on rotting wood. The feature assessed was the length of the roots. The development of the mycorrhizae also proved to be heavily dependent on the substrate and, therefore, can be used as a site indicator.

Keywords: Mycorrhizae, *Picea abies*, subalpine level, Northern Tyrolean Limestone Alps, protection forest, forest pasture, natural regeneration

1. Einleitung

Der Ausbildung der Ektomykorrhiza kommt in Wäldern der subalpinen Stufe, also in Bereichen mit extremen Klimabedingungen und kurzer Vegetationszeit, besondere Bedeutung zu. Eine Reduktion des Mykorrhizabesatzes bzw. seine Schwächung durch Verminderung der pilzlichen Komponenten bedeutet für jeden Baum eine Verminderung der Nährstoffversorgung sowie Vitalitätsverlust.

Der Schulterbergwald (1600 m - 1687m Seehöhe) im Projektgebiet Achenkirch ist ein typisches Beispiel für die überalterten, aufgelichteten Schutzwälder der subalpinen Stufe der nördlichen Kalkalpen. Die durchschnittlichen Kronenverlichtungsgrade, ermittelt nach Kriterien des Waldschadensbeobachtungssystems, waren im Sommer 1991 mit 2,08, im Sommer 1992 mit 2,10 eher gering und unter Berücksichtigung des hohen Alters der Bäume nichts außergewöhnliches (KREHAN & TOMICZEK 1992). Im Bereich anthropogener Schadstoffe stellen nach derzeitigem Wissensstand Ozon und die relativ hohen Schwermetalleinträge einen (potentiellen) Belastungsfaktor dar (HERMAN & SMIDT 1994; MUTSCH 1995). Im Untersuchungsgebiet bestehen alte und ausgeübte Weiderechte. Dementsprechend stellt die Nutzungsform Waldweide, die immer wieder im Zusammenhang mit dem hohen Sanierungsbedarf subalpiner Schutzwälder genannt wird, einen weit zurückreichenden Einflußfaktor dar.

Da Mykorrhizen empfindlich auf Milieuveränderungen reagieren, z.B. auf solche durch Schadstoffeinträge oder mechanische Belastung, eignen sie sich zur Bewertung der Qualität von Standorten, zur Bewertung von Nutzungsformen (z.B. der Waldweide) und im Rahmen von Saatversuchen zur Bewertung des Anwuchsverhaltens der Sämlinge.

Im vorliegenden Bericht werden die Mykorrhizaverhältnisse einer Fläche im Waldweidegebiet beschrieben, um daraus Rückschlüsse auf eine mögliche Belastung der Böden durch das Weidevieh abzuleiten; weiters werden die Ausbildung der Mykorrhizen im Zusammenhang mit Schadstoffeinträgen diskutiert und die Chancen einer zufriedenstellenden Naturverjüngung durch das Wuchsverhalten von Sämlingen getestet.

Mykorrhizauntersuchungen und Versuche mit Jungpflanzen am Schulterberg wurden 1991 begonnen. Sie sind als Grundlage für Sanierungsmaßnahmen und für die Bewertung von Veränderungen, die sich nach Aussetzen der Waldweide oder durch andere Maßnahmen ergeben können, konzipiert.

2. Material und Methode

2.1 Probefläche

Die Lage der Probefläche und ihrer Strukturierung ist aus Abbildung 1 zu ersehen. Sie hat die Größe von 20 x 20 m, liegt in 1640 m Seehöhe und ist leicht nach Süden geneigt. Sie umfaßt die für die Schulterbergkuppe typischen Kleinstandorte auf Buckeln und in Mulden, die sich durch spezifische Bodenbeschaffenheit und Vegetation unterscheiden und in der Regel scharf gegeneinander abgegrenzt sind.

Auf unmittelbar benachbarten und vergleichbaren Kleinstandorten wurden zahlreiche Beprobungen im Hinblick auf Bodenbeschaffenheit und Vegetation vorgenommen (ENGLISCH & STARLINGER 1995; MUTSCH 1995; SOBOTIK 1995).

Die Probefläche ist von vier, für den Waldbestand charakteristischen Bäumen mit außergewöhnlich tiefhängenden Ästen bestockt, von einem Randbaum beeinflußt und an zwei Seiten von umgestürzten, mehr oder weniger vermoderten Stämmen begrenzt.

Voruntersuchungen haben gezeigt, daß Wurzeln der über 200 Jahre alten Bäume 8 bis 10 m weit streichen und Feinwurzeln und damit die Mykorrhizen auf die oberste Bodenschicht konzentriert sind. Zusätzlich wurde durch Stichproben sichergestellt, daß die Probefläche relativ gleichmäßig von Wurzeln der verschiedenen Bäume durchzogen und damit für die Beprobung geeignet war. Mit Hilfe eines Rasters wurden für sechs Kleinstandorte drei typische Teilflächen von je 1m², für zwei weitere wegen der geringen Ausdehnung nur eine Teilfläche gewählt. Die Flächen 1, 2, 3 und 7 lagen im Bereich der Bäume und zeigen vorwiegend Merkmale des Fichtenwaldes, die Flächen 4, 5 und 6 lagen außerhalb des Kronenbereichs; letztere zeigten Merkmale eines Weidestandortes, wobei die Dominanz von *Nardus strikta*, von *Poa alpina* und *Plantago alpina* Muldenstandorten, jene von *Alchemilla alpigena* Buckelstandorten entspricht.

2.2 Probenahme von Feinwurzeln und Mykorrhizen

Die Probenahme erfolgte für alle Teilflächen mit 100 ml Stechzylindern im Abstand von 25 cm in 0 - 5 und 5 - 10 cm Tiefe, also in der von Mykorrhizen und Feinwurzeln am stärksten besetzten Bodenschicht. Diese Art der Probenahme wurde gewählt, da aus langjährigen Erfahrungen bei Freilanduntersuchun-

gen der Einfluß von Vegetation und Humusform auf die Mykorrhizaausbildung bekannt ist (BJÖRKMAN 1942; GÖBL 1965, 1975).

Der geringe Probenabstand hat sich sowohl bei der Beurteilung von Schäden und deren Verteilung als auch des Verteilungsmusters von Mykorrhizatypen bewährt. Die Probenahme wurde Anfang Oktober 1991 nach Ende der Weidesaison durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt ist in dieser Höhenlage nach eigenen Erfahrungen noch mit Wurzel- und Mykorrhizawachstum zu rechnen.

Für pH-Wertbestimmungen wurden pro Teilfläche und Probehorizont zusätzlich Bodenproben in dreifacher Wiederholung entnommen.

2.3 Auswertung

Für jede Einzelprobe wurden sowohl lebende als auch abgestorbene Feinwurzeln und Mykorrhizen präpariert und in 7 %iger Ethanollösung fixiert. Die Beurteilung ihrer Ausbildung und Schädigung, also ihrer Qualität, erfolgte mit dem Stereomikroskop bei 20facher Vergrößerung, jene von Feinstrukturen mit Hilfe des Lichtmikroskops.

Eine taxonomische Zuordnung von Mykorrhizen zu bestimmten Mykorrhizapilzen war bis vor kurzem - mit nur wenigen Ausnahmen - ein unlösbares Problem, sie ist aufgrund ausführlicher Beschreibungen von Fein- und Ultrastrukturen (u.a. AGERER 1986-93, HAUG & OBERWINKLER 1987) für Untersuchungen im Gelände aufwendig und daher begrenzt anwendbar, während dies mittels PCR-Methode (GRUBER et al. 1995) mit geringem Aufwand möglich ist. Dieses Verfahren war zum Zeitpunkt der Probenahme erst für einige mykorrhizabildende Pilze anwendbar; deshalb wurden Mykorrhizen weiterhin nach ihren wesentlichen Merkmalen, nach Bau und Pilzmantel, also nach ihrer Wuchsform charakterisiert (GÖBL 1975). Auch unter der Annahme, daß verschiedene Pilze ähnliche Wuchsformentypen bilden (EGLI et al. 1993), eignen sich diese für eine Unterscheidung und Bewertung bestimmter Standorte und Gebiete. Die Häufigkeit unterschiedlicher Mykorrhizatypen kann als Kriterium für die Standortsqualität gewertet werden.

Für die Funktionsfähigkeit von Mykorrhizen und Feinwurzeln ist ihre Vitalität entscheidend, wobei dieser Parameter als Maß für Leistung, Reproduktions- und Regenerationskraft angesehen wird. Die Vitalität wird anhand einer sechsteiligen Skala beschrieben (Tabelle 1; GÖBL 1989a) und reicht von der Beurteilung "gute Entwicklung" (Klasse I) bis zur Klasse VI, in welcher Wurzeln und Mykorrhizen als zur Gänze abgestorben beurteilt werden. Die Bewertung beruht auf einer Differentialdiagnose für zahlreiche Merkmale, darunter auch Veränderungen als Folge natürlicher Seneszenz. Auch Verletzungen und andere Schädigungen werden beurteilt. Im Schema der Vitalitätsklassen entsprechen neugebildete Mykorrhizen im allgemeinen der mit I bewerteten Klasse. Die Normalausbildung liegt in der Regel im mittleren Bereich, da die Differenzierung von Mykorrhizen selten gleichzeitig erfolgt und auch der natürliche Alterungsprozeß eine Verringerung der Vitalität bedeutet.

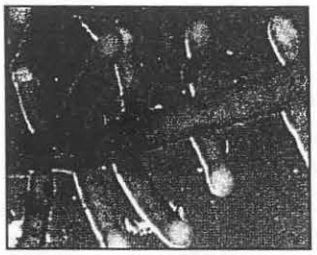
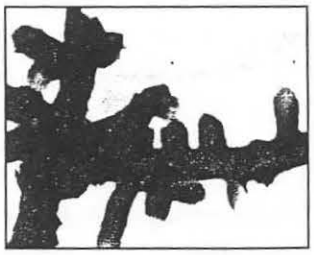
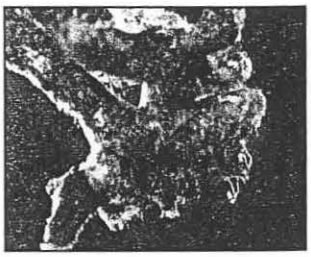
Die Bestimmung der Trockengewichte erfolgte abschließend für jede Probe getrennt nach Feinwurzeln sowie Mykorrhizen bei 105 °C durch Trocknung bis zur Gewichtskonstanz.

2.4 Saatversuche

Im Bereich des Probeareals auf der Schulterbergkuppe wurden auf 20 Kleinstandorten im Bereich von Bäumen, der Weide und auf vermodertem Holz Mitte Juni 1992 Fichtensamen ausgebracht (Herkunft IIa/1/13-, Nasserreith, 1700-1800 m Seehöhe).

Die Saatplätze von 20 x 30 cm waren durch Drahtgitter geschützt. Die Samenmenge war für einen Standraum von etwa 15 cm^2 pro Sämling berechnet. Damit war eine Einzelentnahme von Sämlingen ohne Zerstörung der Saatplätze möglich.

Tab.1: Vitalitätsklassen von Feinwurzeln und Mykorrhizen

I.	**Gute Entwicklung** Wurzeln mit glatter Rinde und ungestörten Spitzenwachstum. Mykorrhizen mit der für Pilz und Baum typischen Wuchsform.	
II.	**Erkennbare Schäden** Fallweise Rindenschäden, vorzeitige Alterung von Mykorrhizen.	
III.	**Deutliche Schäden** Rindenschäden, Stauchung von Wurzelspitzen, vorzeitige Alterung sowie Formverändeung von Mykorrhizen.	
IV.	**Sehr deutliche Schäden** Rindenschäden, sichtbarer Sekundärbefall durch Schadpilze, stark gestauchte oder abgestorbene Wurzelspitzen. Vorzeige Alterung von Mykorrhizen, Formveränderungen wie Stauchungen oder büschelförmiges Wachstum.	
V.	**Starke Schäden** Teilweise abgestorbene Wurzeln, sichtbarer Sekundärbefall durch Schadpilze; stark gestauchte, abgebrochene oder abgestorbene Wurzelspitzen. Mykorrhizen abgestorben, oder kümmerliche Neubildungen, Formveränderungen wie Stauchungen oder büschelförmiges Wachstum.	
VI.	— **Wurzeln und Mykorrhizen zur Gänze abgestorben**	

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Charakterisierung der Kleinstandorte

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die pH-Werte, die Durchwurzelung und die Trockengewichte der Wurzeln und Mykorrhizen.

3.1.1 pH-Werte

Beträchtliche Unterschiede ergaben sich für die pH-Werte: Sie lagen im Bereich der Bäume zwischen 3,31 und 4,04, im Nardetum bei 3,41 und in den kräuterreichen Flächen der Buckel und Mulden zwischen 4,89 und 5,86. Die Standardabweichung der Mittelwerte von Einzelflächen liegt zwischen 1 und 11 %, ist damit gering und zeigt relativ gleichmäßige Bodenverhältnisse der Teilflächen an.

3.1.2 Durchwurzelung

Im Bereich der Bäume waren 94 % bis 100 % aller Proben durchwurzelt, was einer sehr guten Durchwurzelung entspricht. Ähnliche Verhältnisse (94 %) wurden im Nardetum, das den Mulden im Weidebereich zuzuordnen ist, gefunden, während an Muldenstandorten mit *Poa alpina* und an Buckelstandorten mit *Alchemilla alpigena* weniger als die Hälfte der Proben durchwurzelt waren.

3.1.3 Trockengewichte der Feinwurzeln und Mykorrhizen

Die Trockengewichte der Feinwurzeln (in Tabelle 2 sind die Gesamtgewichte der Feinwurzeln und Mykorrhizen angegeben) und für Mykorrhizen alleine ergaben keine auffallenden Unterschiede zwischen den beiden Bodenschichten (0-5 cm und 5-10 cm Tiefe). Deshalb wurden die Ergebnisse zusammengefaßt: Die Standardabweichung der Mittelwerte der Einzelflächen lag für Mykorrhizen zwischen 50 % und 168 %, für die Gesamtgewichte zwischen 51 % und 149 % und damit außerordentlich hoch.

Die Mittelwerte sämtlicher Einzelflächen der Kleinstandorte wiesen im Bereich der Bäume auf einen um ein Mehrfaches dichteren Besatz an Mykorrhizen und Feinwurzeln hin als die im Weidebereich und außerhalb der Baumkronen liegenden Flächen.

3.1.4 Mykorrhizatypen

Die Kleinstandorte der Untersuchungsfläche zeigten auffallende Unterschiede in der Typenhäufigkeit, die den Einfluß von Boden und Vegetation deutlich machen (Tabelle 3). Eine Auflistung der Mykorrhizatypen für 7 Kleinstandorte zeigt bezüglich ihrer Verteilung sehr ähnliche Ergebnisse (Tabelle 4).

Die größte Typenvielfalt und -häufigkeit war auf den Bereich der Bäume beschränkt. Einige Typen sind mit unterschiedlicher Häufigkeit über die ganze Pro-

Tab.2:
Charakteristik der Kleinstandorte

Signatur	dominante Pflanzenarten	pH (CaCl2)	Durchwurzelung (% aller Proben) gesamt	Trockengewichte (g) der Wurzeln	Trockengewichte (g) der Mykorrhizen	Anzahl Mykorrhizatypen
	ohne Bewuchs (Nadelstreu)	3,31	92	0,66	0,14	21
	Vaccinium myrtillus *)	3,14	98	0,12	0,05	16
	Moose	4,04	100	0,31	0,06	14
	Nardus stricta	3,41	94	0,32	0,05	14
	Alchemilla alpina, Carlina acaulis, Thymus sp.	5,86	37	0,08	0,02	6
	Poa alpina, Plantago alpigena Deschampsia cesp.,	4,86	45	0,15	0,03	12
	Luzula sylvatica	4,02	94	0,64	0,11	17
	ohne Bewuchs (vermodertes Holz)	3,94	98	0,19	0,10	10

Tab.3:
Anzahl von Mykorrhizatypen von Fichte an verschiedenen Untersuchungsflächen und Waldgebieten

Versuchsstandort		Seehöhe	Bodenart	Anzahl der Typen	Autoren
Schulterbergkuppe/T.	Kronenbereich	1640 m	Rendsina und Braunlehm	17-21	
Schulterbergkuppe/T.	Weidebereich	1640 m	Rendsina und Braunlehm	6-14	
Zillertal/T.	Waldstandort ohne Streunutzung	1060 m	Braunerde podsoliert	13-15	GÖBL (1989b)
Zillertal/T.	Waldstandort mit Streunutzung	1520 m	Braunerde podsoliert	7-10	GÖBL (1992)
Zillertal/T.	Waldstandort	1420 m	Braunerde podsoliert	14-18	GÖBL (1965)
Gleingraben/Stmk.	Waldstandort	1270 m	Braunerde podsoliert	14-16	GÖBL (1990)
Gaisbergkuppe/Sbg.	Waldstandort	1240 m	Terra fusca	17-21	GÖBL (unveröff.)
Davos/CH.	Waldstandort	1660 m	Eisenhumuspodsol	11-15	EGLI (1991)
Lägeren/CH.	Waldstandort	685 m	Braunerde	13-15	EGLI (1991)

Tab.4:
Verteilung verschiedener Mykorhhizatypen in unterschiedlichen Kleingesellschaften der untersuchten Waldweidefläche (Häufigkeit entsprechend dem Volumen in den untersuchten Teilflächen)

		Nadelstreu ohne Bewuchs			*Vacc. myrtillus sylvatica* und Moore		*Deschampsia cesp. ,Luzula sylvestica*			*Nardus stricta*			*Poa alpina, Plantago alpina*			*Alchemilla alpina, 2: Thymus spec.*		
Nr.		1			2		3			4			5			6		
1	gelbbraun, matte Oberfläche	1	3	1	4	3	4	-	8	1	2	-	2	-	7	-	-	-
2	schwarz, matte Oberfläche	4	10	6	1	10	4	11	3	-	-	-	-	-	2	-	-	-
3	schwarze Borsten (Cenococcum)	1	6	8	2	23	2	2	3	-	2	1	-	-	-	-	-	-
4	braun, matte Oberfläche	9	8	2	4	7	-	1	-	1	-	-	-	1	2	-	-	-
5	rosabraun, glatte Oberfläche	20	8	17	2	5	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	weiß, glatt, dicht verzweigt	3	12	9	1	-	3	2	9	4	2	2	-	-	-	-	-	-
7	weiß, runde Hyphenstränge	5	4	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	3	-
8	rotbraun, glatte Oberfläche	2	8	6	6	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	rotbraun, dick, matte Oberfläche	4	2	6	-	-	-	4	2	1	1	1	-	1	1	-	3	-
10	orangebraun, glatt	2	1	3	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	rotbraun, Cystiden	-	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	spangrün	8	4	2	2	3	-	-	-	5	3	9	-	-	3	-	-	-
13	hellbraun, matte Oberfläche	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	weiß, unregelmäßige Achsen	-	3	-	6	4	6	4	4	1	-	-	-	2	2	-	-	-
15	weiß, wolliges Mycel	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	weiß, dick, matte Oberfläche	-	4	3	12	-	1	4	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
17	beige, glatte Oberfläche	25	1	-	-	-	-	1	-	-	-	1	2	3	15	-	-	1
18	rotbraun, dicke, zarte Komplexe	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	rotbraun, dick, glatte Oberfläche	-	5	2	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	beige, wolliges Mycel	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	rosa, matte Oberfläche	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	weinrot, unregelmäßige Achsen	-	-	-	-	5	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	dunkelbraun, wolliges Mycel	-	-	-	-	-	4	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-
24	gelbbraun, Cystiden	-	-	-	3	-	-	3	-	-	-	-	-	2	-	-	1	-
25	weiß, dünn, lange Achsen	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	4	2	-	2	-	1
26	rosa, grau verfärbend	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	weiß, zarte Hyphenstränge	-	-	-	-	6	6	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	rotbraun, loses Mycel	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-
29	weiß, Cystiden	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	-	-	-
30	gelbbraun, glatte Oberfläche	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
31	dunkelbraun, Cystiden	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
32	gelbgrün, matte Oberfläche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
33	dunkelbraun, matte Oberfläche	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	graubraun, matte Oberfläche	-	-	-	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	gelbbraun, wolliges Mycel	-	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	gelblich, loses Mycel	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	weiß, glänzende Oberfläche	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

befläche verteilt; für die Kleinflächen mit *Vaccinium myrtillus*, mit Moosen und auch mit *Nardus stricta* zeichnen sich Gruppen von spezifischen Typen ab.

Auf der Untersuchungsfläche wurden für die Vegetationsperioden 1991 bis 1993 Fruchtkörper von 24 Pilzarten festgestellt (PEINTNER, pers. Mitt.). Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Verteilung von Fruchtkörpern, Pilzmycelien und Mykorrhizen bzw. deren Identifizierung sind in Vorbereitung.

Um die Untersuchungsfläche bewerten zu können, sind in Tabelle 3 Ergebnisse über die Anzahl von Mykorrhizatypen verschiedener, vorwiegend hochmontaner und subalpiner Waldstandorte der Zentralalpen und des Nordalpenrandes zusammengefaßt. Es handelt sich um charakteristische Standorte der jeweiligen Gebiete, die nach relativ gut vergleichbaren Methoden bearbeitet wurden.

Die Typenvielfalt des Schulterberges zeigt für die Kleinstandorte im Bereich der Bäume 17 bis 21 Typen einen guten Waldzustand an, während im Bereich der Weide mit 6 Typen eine deutliche Reduktion der Mykorrhizatypen festzustellen war.

3.1.5 Vitalität der Feinwurzeln und Mykorrhizen

Im Bereich der Bäume mit ihren nahezu bis zum Boden reichenden Ästen entspricht die Vitalität dem mittleren Bereich der Bewertungsskala und etwa der Normalausbildung. In der Teilfläche mit *Vaccinium myrtillus* entsprechen mehr als 25 % gut bewertete Proben einem mäßigen Durchschnitt. Die Kleinflächen mit *Deschampsia cespitosa* und *Luzula sylvatica* im Bereich der Bäume und mit *Nardus stricta* im Weidebereich weisen trotz der guten Werte für die Durchwurzelung schlechte und sehr schlechte Vitalitätsbewertungen auf.

Die Art der Schäden in den Einzelflächen war trotz unterschiedlicher Intensität vergleichbar. In der Regel waren gut ausgebildete, fallweise üppig verzweigte Mykorrhizakomplexe abgestorben. Zum Teil handelte es sich um Neubildungen, erkennbar durch hellgefärbte oder glänzende Spitzen beziehungsweise das Fehlen einer Verkorkung in der Spitzenregion. Achsen dieser Komplexe und vor allem ihre Trägerwurzeln waren eindeutig abgestorben.

Für die Teilflächen Nadelstreu ohne Bewuchs und die Fläche mit *Deschampsia cespitosa* und *Luzula sylvatica* wurden Trockengewichte von 0,66 und 0,64 g pro 100 ml Boden bestimmt. Im Weidebereich sind für die Muldenstandorte des Nardetums die Werte von 0,32 g relativ hoch im Vergleich zu jenen der Muldenstandorten mit *Poanalpina* und *Plantago alpina* und den Buckelstandorten mit *Alchemilla alpigena*, für welche mit 0,01 g und 0,08 g pro 100 ml Boden sehr niedrige Werte bestimmt wurden. Die geringen Wurzelgewichte für Fichte in der Teilfläche *Vaccinium myrtillus* werden auf deren Wurzelkonkurrenz zurückgeführt.

PÖDER (1994) gibt für Fichtenfeinwurzeln aus Waldbeständen Vorarlbergs Trockengewichte zwischen 0,72 g und 0,2 g pro 100 ml Boden an und Abweichungen vom Mittelwert zwischen 4 % und 15 %.

Bisherige Untersuchungen in verschiedenen österreichischen Fichtenbeständen haben gezeigt, daß die Verteilung von Mykorrhizen und Feinwurzeln trotz äußerer Homogenität von Probeflächen, hoher Dichte beziehungsweise Anzahl der Probestellen sowie sorgfältigster Verarbeitung große Unregelmäßigkeiten aufweisen kann (GÖBL 1990). Mögliche Ursachen dafür sind: der Verlauf der Wurzeln, die spezifische und fallweise sehr dichte Verzweigung bestimmter Mykorrhizatypen sowie die Konkurrenz von Wurzeln krautiger Pflanzen und von Gräsern (SOBOTIK 1995), natürlicher Zerfall bestimmter Wurzelpartien, kleinsträumige Bodenunterschiede oder Schädigung als Folge äußerer Einflüsse.

Die Unregelmäßigkeiten in der Verteilung von Mykorrhizen und Feinwurzeln in der Probefläche am Schulterberg können zusätzlich im Zusammenhang mit dem Mosaik der unterschiedlichen Kleinstandorte, der gruppenweisen Verteilung der Bäume und ihrem hohen Alter stehen, es gibt diesbezüglich keine Vergleichsmöglichkeiten.

Diese Befunde deuten auf Streßeinwirkung hin. Ein Befall der Wurzeln durch parasitische Pilze oder andere Schadorganismen wurde allerdings nicht nachgewiesen; auch Trockenschäden scheiden auf Grund der Niederschlagsmeßwerte (PLATTNER & PAUSCH, pers. Mitt.) aus. Die Prüfung anderer, zum Beispiel bodenchemischer Standortsfaktoren, ergab nur eine Beziehung zur Typenhäufigkeit und -verteilung.

Eine Darstellung der Schäden auf der Gesamtfläche durch die Mittelwerte der Vitalitätsklassen der Einzelflächen (Abbildung 1) macht deutlich, daß diese am stärksten in den von Weidevieh begangenen Bereichen außerhalb des nahezu unzugänglichen Kronenbereiches liegen, also in den gras- und krautreichen Kleinstandorten. Demnach bietet sich mechanische Verletzung der Feinwurzeln und das Absterben der Mykorrhizen als Folge von Trittbelastung durch Weidevieh als Erklärung für die beschriebenen Schäden an.

Eine Abschuppung der Vegetationsdecke an diesen Stellen wird im Frühjahr vor dem Austrieb von Grä-

Abb.1:
Untersuchungsfläche im Waldweidegebiet Schulterberg mit Lage der Kleinflächen und Verteilung der Schäden auf der Untersuchungsfläche gemäß den in Tabelle 1 angegebenen Vitalitätsklassen

sern und Kräutern sichtbar und macht die Belastung dieser Kleinstandorte deutlich. Nach ZAUPER (1990) wird auf benachbarten, intensiv beweideten Almen die Grasnarbe wesentlich stärker bis zu 10 % zerstört beziehungsweise abgeschuppt.

3.1.6 Bewertung der Schäden

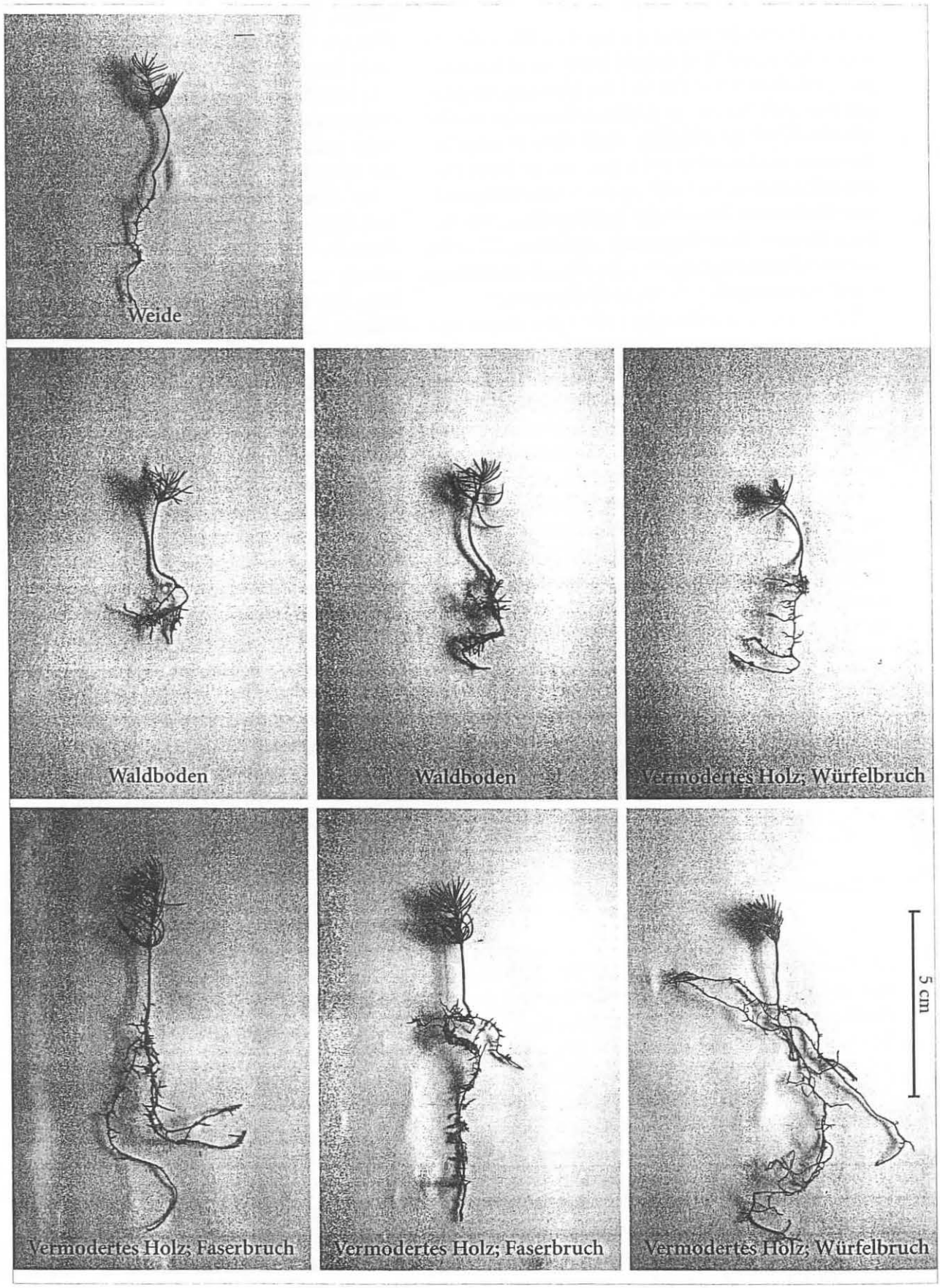
Die beschriebenen Veränderungen im Feinwurzelbereich nach Ende einer Weidesaison entsprechen einer Abnahme der Dichte von Feinwurzeln und Mykorrhizen und damit einer Reduktion der Absorptionsorgane. Da die Schäden kein unbedeutendes Ausmaß haben, können verringerte Wasserversorgung, verringerte Nährstoffaufnahme oder Mangelerscheinungen für bestimmte Nährstoffe als unmittelbare Folge für die Bäume abgeleitet werden.

Die Annahme scheint berechtigt, daß entsprechende Schäden, je nach Weidegang, wiederholt auftreten. Wenn die langjährige Weidenutzung und das hohe Alter der Bäume mit in Betracht gezogen werden, können die Schäden als Ursache für eine Schwächung der Bäume beurteilt werden.

Tab.5:
Berteilung der Vitalitätsklassen für Feinwurzeln und Mykorrhizen in verschiedenen Kleingesellschaften einer Waldweide (Angaben in Prozent der durchwurzelten Proben (n = 150, bzw. n = 50)*

Kleinstandorte, charakterisiert nach dominanten Pflanzen	Vitalitätsklassen I	II	III	IV	V	VI
ohne Bewuchs (Nadelstreu)		1,4	22,3	28,1	18,7	29,5
Vaccinium myrtillus *)			13,6	25,0	29,5	31,9
Moose *)			7,8	14,6	27,5	45,1
Alchemilla alpina, Thymus sp.			3,6	3,6	14,3	78,5
Deschampsia cesp., Luzula sylvatica			1,4	5,0	10,8	82,7
Nardus stricta				2,2	3,6	94,2
Poa alpina, Plantago alpina					5,0	95,0

Abb.2:
2jährige Fichtensämlinge auf Weide, Waldboden und Moderholz



3.2 Mykorrhizaausbildung mit Schadstoffeinträgen

Perlenschnurartige Einschnürungen an Mykorrhizen oder Verdünnung ihrer Spitzen lassen auf kleinräumigen (periodenweisen) Wechsel von Umweltbedingungen bezüglich Wasser- und Nährstoffversorgung oder Schadstoffeinträge schließen. Auch diese Formveränderungen wurden nur vereinzelt in einer geringen Probenzahl gefunden und sind im Bereich der Waldweide ohne Bedeutung. Das häufige Auftreten dieser Wuchsform im Bereich der Reinweide (Abbildung 2) weist auf schlechte Bedingungen für die Wurzelentwicklung von Forstpflanzen hin (GÖBL, in Vorbereitung).

Abnormale Ausbildungen von Mykorrhizen wie Form- und Strukturveränderungen und ihre Häufigkeit können Hinweise auf eine Instabilität von Waldökosystemen geben. Der Wechsel des mykorrhizabildenden Pilzpartners an Einzelmykorrhizen - meist in der Spitzenregion und deutlich zu erkennen an unterschiedlichen Farben und Strukturen der Pilzmäntel - zeigt eine Störung im Konkurrenzverhalten der Pilzpartner an. MARKS & FOSTER (1973) fanden in einem 40jährigen Kiefernbestand etwa 4 % solcher Mykorrhizen. Für ein Waldschadensgebiet wurden an den Wurzeln gepflanzter Jungfichten nach einer Vegetationsperiode bis zu 62,8 % abnormaler Ausbildungsformen von Mykorrhizen festgestellt (GÖBL, in Vorbereitung). Für die Untersuchungsfläche am Schulterberg wurde diese Ausbildungsform nur in 7 von 900 Einzelproben gefunden. Auch wenn die Vergleichsmöglichkeiten sehr gering sind, ist damit kein Hinweis auf Schadstoffeinträge gegeben.

3.3 Saatversuche

Die Keimung der Fichtensamen, welche auf Waldweiden, auf Waldflächen und vermodertem Holz durch Ausbringung von Sämlingen erfolgte, begann drei Wochen nach der Saat annähernd gleichzeitig. Die weitere Entwicklung der Sämlinge, insbesondere ihrer Wurzeln, erfolgte in deutlicher Abhängigkeit von den Substratbedingungen der Saatplätze. Die charakteristischen Wuchsformen sind am Beispiel 2jähriger Sämlinge aus Abbildung 4 ersichtlich.

Im Bereich der Weide waren die Wurzeln der Sämlinge sehr zart und wenig verzweigt, im Bereich der Bäume auf Waldböden kurz kompakt (Abbildung 2). Ein völlig anderes Wuchsverhalten zeigten die Pflanzen auf vermodertem Holz. An diesen Standorten wurden bereits nach der ersten Vegetationsperiode mittlere Wurzellängen von 26,5 cm erreicht. Die Pflanzen der Waldstandorte bildeten im gleichen Zeitraum Wurzeln von nur 3,5 cm mittlerer Länge aus.

Es besteht eine gute Übereinstimmung zu Saatversuchen von EICHRODT (1969), die auf Braunerde geringe, auf Moderholzsubstrat große Hauptwurzellängen erbrachten.

Am Abbau des Holzes umgestürzter Bäume sind zwei Hauptgruppen holzzerstörender Pilze beteiligt (JAHN 1973). Braunfäulepilze bauen vorwiegend Zellulose ab, was blockigen Zerfall oder Würfelbruch zur Folge hat. Das Holz bleibt verhältnismäßig hart, die Wurzeln der Fichtenpflänzchen folgen fast ausschließlich den Spalten und sind rechtwinkelig gebogen. Sie erreichen je nach Abbaugrad des Holzes beträchtliche Längen im Vergleich zur Gruppe auf Erde. Weißfäulepilze bauen Lignin ab, was zu faserigem Zerfall führt. Bei fortgeschrittener Zerstörung der Holzsubstanz finden die Wurzeln kaum Widerstand und können das Substrat in verschiedenen Richtungen durchwachsen.

Vorkommen und Verteilung der am Schulterberg vorkommenden, holzzerstörenden Pilzarten wurden von PEITNER (1995) bearbeitet.

Die Mykorrhizaausbildung der Sämlinge wies ebenfalls große Unterschiede auf (Abbildung 3). Auf Reinweidestandorten waren für die gering und unregelmäßig verpilzten Kurzwurzeln perlenschnurartige Einschnürungen charakteristisch; sie zeigen ungünstige Bedingungen für die Wurzelentwicklung an.

Die schlechte Mykorrhizierung dieser Sämlinge ist ein erster Hinweis, daß der Mykorrhiza bei Sanierungsaufforstungen auf länger entwaldeten Kalkstandorten besondere Bedeutung zukommt.

Auf den Waldstandorten des Schulterberges waren bereits nach einer (der ersten) Vegetationsperiode einzelne Mykorrhizen differenziert, nach zwei Vegetationsperioden bereits mehrere unterschiedliche Typen, entsprechend dem Mykorrhizierungspotential des Saatplatzes.

Ab einem bestimmten Zerfallsgrad können auch Mykorrhizapilze das Moderholz besiedeln und an den Wurzeln von Sämlingen oder einwandernden Wurzeln älterer Bäume Mykorrhizen bilden (GÖBL 1968). Die Feuchtigkeit und ausgeglichene Temperatur des Substrates ermöglichen fortlaufendes Wachstum und mehr oder weniger üppige Mykorrhizadifferenzierung (HARVEY et al. 1978).

Die Feuchtigkeit und die ausgeglichene Temperatur des Substrates ermöglichen zudem fortlaufend Wurzelwachstum und Mykorrhizadifferenzierung. Am

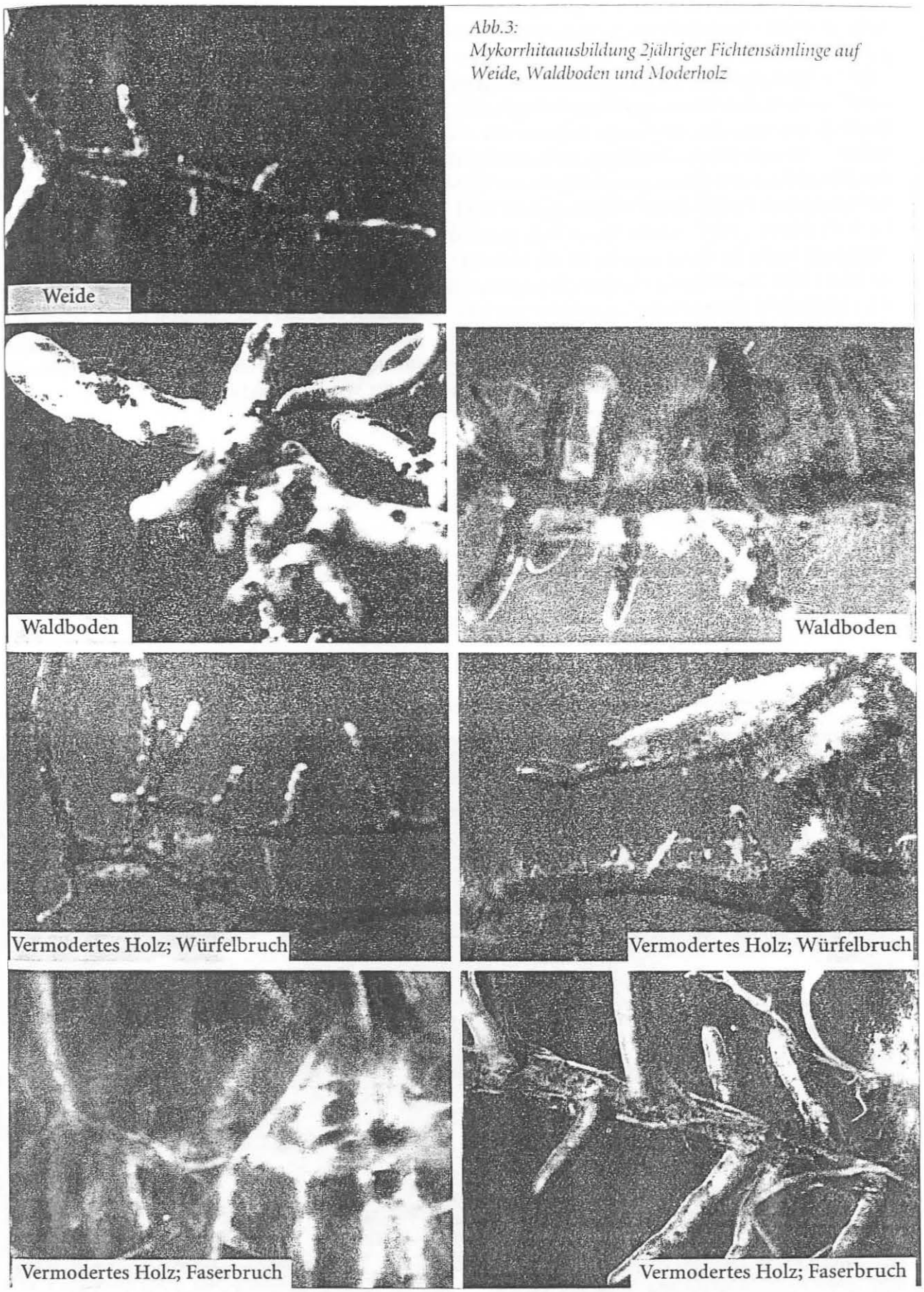


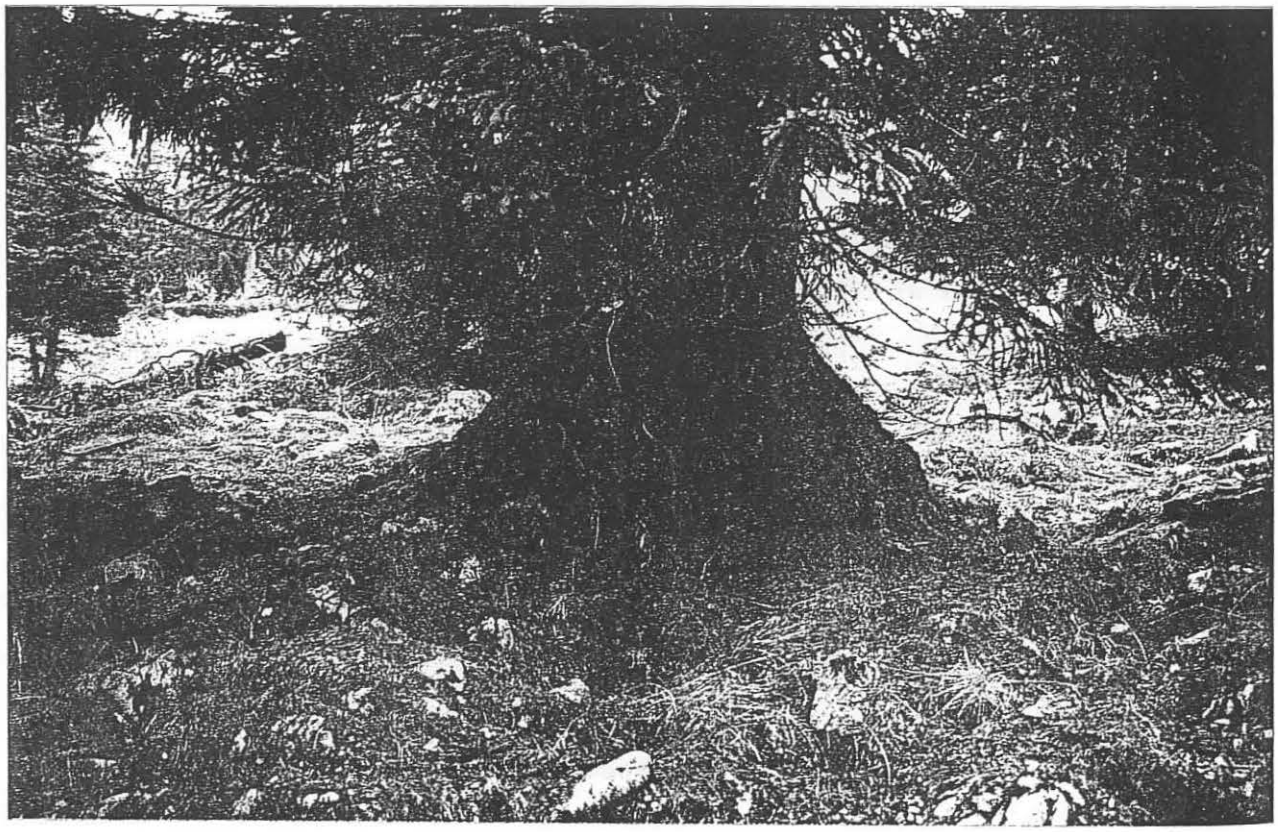
Abb.3:
Mykorrhitaausbildung 2jähriger Fichtensämlinge auf Weide, Waldboden und Moderholz

Schulterberg waren an Wurzeln von Sämlingen aus faserig zersetztem Moderholz häufig Mykorrhizen ausgebildet, die der Vitalitätsklasse I und II entsprachen.

Im Schulterbergwald ist die geringe Naturverjüngung auf die vermoderten Stämme und Strünke beschränkt. Diese liefern nicht nur das bessere Substrat für die Wurzel- und Mykorrhizaentwicklung, sie bieten durch die erhöhte Lage den Pflanzen auch Schutz vor Trittverletzung und Verbiß durch Weidevieh und Wild. Nach EICHRODT (1969) schafft Moderholz generell ökologisch wertvolle Voraussetzung für die Entwicklung der Fichte in subalpinen Wäldern. So vermindert zum Beispiel die etwas erhöhte Temperatur von Moderholz die Dauer der Schneebedeckung. Für die Naturverjüngung an diesen Sonderstandorten am Schulterberg kann damit ein geringer Befall durch den Schadpilz *Herpotrichia nigra* (Schneeschimmel) erklärt werden. Die lange Dauer der Schneebedeckung an Waldbodenstandorten begünstigt die Ausbreitung des Schadpilzes, was zu hohen Ausfällen bei gepflanzten Fichten geführt hat.

Der Schulterbergwald bietet zahlreiche Beispiele dafür, daß der beschriebene Verjüngungsmodus nicht nur heute charakteristisch ist, sondern auch in der Vergangenheit war. Die durch den erhöhten Standort geprägte Wuchsform der Wurzeln bleibt erhalten und läßt sich auch an älteren Bäumen gut erkennen (Abbildung 4). Diese stelzwurzelähnliche Ausbildung der Wurzeln bedeutet eine Gefährdung der Stabilität der Bäume beziehungsweise des Bestandes und es scheint ein enger Zusammenhang zur Anfälligkeit alter Bäume für Windwurf zu bestehen.

Abb.4:
Typische Wuchsform von Wurzeln auf einem Moderholzstandort



Literatur

AGERER R. 1986-1993: *Colour atlas of ectomycorrhizae.* Einhorn, Schwäbisch Gmünd.

BJÖRKMAN E. 1942: *Über die Bedingungen der Mykorrhizabildung bei Kiefer und Fichte.* Symbolae Botanicar Upsaliensis, V 2.

EGLI S. 1991: *Morphologische Untersuchungen der Mykorrhizaverhältnisse an Fichten auf den Beobachtungsflächen Lägeren und Davos.* "Luftschadstoffe und Wald" (STARK M., ed.), Vdf. Zürich, 187-198.

EGLI S., AMIET R., ZOLLINGER M. & SCHNEIDER B. 1993: *Characterization of Picea abies (L.) Karst. ectomycorrhizas: discrepanc between classification according to macroscopic versus microscopic features.* Trees 7, 123-129.

EICHRODT R. 1969: *Über die Bedeutung von Moderholz für die natürliche Verjüngung in einem subalpinen Fichtenwald.* Diss. Eidg. Techn. Hochschule Zürich.

ENGLISCH M. & STARLINGER F. 1995: *Waldgesellschaften und Standorte im Bereich der Höhenprofile Achenkirch.* FBVA-Berichte 87, 25-54.

GÖBL F. 1965: *Mykorrhizauntersuchung in einem subalpinen Fichtenwald.* Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 66, 173-195.

- 1968: *Mykorrhiza-Untersuchungen an Jungfichten im Urwald von Brigels.* Schweiz. Z. Forstwes. 119, 148-150.
- 1975: *Mykorrhizauntersuchungen in subalpinen Wäldern.* Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 75, 335-356.
- 1989a: *Mykorrhiza- und Fein-wurzeluntersuchungen im Wald-schadensgebiet Gleingraben und Gleinalpe. I. Zustandserhebung in der Probefläche "Hexenkreuzung".* Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 163, 171-196.
- 1989b: *Mykorrhiza- und Feinwurzelausbildung von Probebäumen des Höhenprofils "Zillertal".* Phyton (Austria) 29 (3) 97-101.
- 1990: *Mykorrhiza- und Feinwurzeluntersuchungen im Wald-schadensgebiet Gleingraben und Gleinalpe. III. Versuche mit Bodenhilfsstoffen.* Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 163, 5-31.
- 1992: *Mykorrhiza- und Fein-wurzelausbildung an Waldstandorten im Bereich des Höhenprofils Zillertal.* FBVA-Berichte 67, 105-111.

GRUBER F., KREUZINGER N., PODEU R., HAUDEK S.B., GÖBL F., & KUBICEK C.P. 1995: *Identifizierung und Quantifizierung vom mykorrhiza-bildenden Basidimyzeten anhand Ihres Glycerinaldehyd-3-Phosphat dehydrogenase (gpd A) Gens.* FBVA-Berichte 87, 113-120.

HARVEY A.E., JURGENSEN M.F. & LARSEN M. 1978: *Seasonal distribution of ectomycorrhizae in a mature Douglas fir/larch forest soil in Western Montana.* For. Sci. 24, 203-208.

HAUG I. & OBERWINKLER F. 1987: *Some distincte types of mycorrhizae.* Trees 1, 172-188.

HERMAN F. & SMIDT S. 1994: *Zusammenschau aus den Bereichen: Integrated Monitoring, Bioindikatoren und Zeigerwerte zur Charakterisierung des physiologischen Zustandes der Bäume.* FBVA-Berichte 78, 121-129.

JAHN H. 1979: *Pilze die an Holz wachsen.* Bussesche Verlagshandlung, Herford.

KREHAN H. & TOMICZEK C. 1992: *Forstliche Beschreibung der Probeflächen und Kronenzustände der Probebäume an den Höhenprofilen Achenkirch.* FBVA-Berichte 70, 19-24.

MARKS G.C. & FOSTER R.C. 1973: *Structure, morphogenesis and ultrastructure of ectomycorrhiza.* In: MARKS G.C. & KOZLOWSKI T.T. (eds.): Ectomycorrhiza, their Ecology and Physiology. No. 7 Academic Press, New York, 1-41.

MASER C. & TRAPPE J.M. 1984: *The Seen and Unseen World of the Fallen Tree.* Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station U.S. Dept. of Agriculture General Technical Report PNW 164, p. 1-56.

MUTSCH F. 1995: *Schwermetalle im Boden als Immissionsindikator auf einem Prallhang im Raum Achenkirch.* FBVA-Berichte 87, 153-160

PEINTNER U. 1995: *Artenvielfalt und Abundanz von Basidiomyzeten im Projektgebiet Achenkirch.* FBVA-Berichte 87, 69-94.

PÖDER R. & PERNFUSS B. 1994: *Monitoring von Ektomykorrhizen.* Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges. 48/49, 127-138.

SOBOTIK M. 1995: *Wurzelökologische und vegetationskundliche Untersuchungen im Waldweidegebiet des Schulterberges.* FBVA-Berichte 87, 177-200.

ZAUPER A. 1990: *Auswirkungen der Beweidung auf die Bodenbeschaffenheit in der montanen und subalpinen Waldstufe der Nördlichen Kalkalpen, dargestellt an Beispielen aus dem Bereich nördlich des Achensees.* Diss. Univ. Erlangen-Nürnberg.

Verfasser: HR. Dr. Friederike Göbl
Schneeburggasse 43 a
A-6020 Innsbruck